

В заключение следует отметить, что полученные значения коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  для упрочненных твердых сплавов можно считать критическими и использовать в аналитических расчетах, несмотря на статический характер положения нагрузки при нагружении индентором. В общем случае в процессе эксплуатации инструмента наиболее опасны динамические нагрузки, способные вызывать повреждения откольного типа. Однако прочность при изгибе и трещиностойкость  $K_{Ic}$  твердых сплавов (в отличие от сталей) возрастает в случае перехода от статического нагружения с низкой скоростью деформации к динамическому с высокой скоростью деформации.

## **КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ**

С.С. Сомотугин, проф., д-р техн. наук, В.А. Гагарин, ассистент, В.А. Мазур, доцент ГВУЗ «ПГТУ»

Использование плазменных источников нагрева позволяет получать модифицированные покрытия как сплошного, так и градиентного строения, в которых упрочненные (твердые и хрупкие) зоны чередуются с зонами, имеющими исходную структуру (мягкими и вязкими). Установлено, что нанесение покрытий градиентного строения не только не снижает эксплуатационные характеристики поверхностного слоя, но и позволяет их повысить за счет чередования твердых и вязких участков, но определение оптимальных параметров поверхностной модификации опытным путем крайне затруднительно.

Данную задачу целесообразно решать при помощи метода конечных элементов (МКЭ), который широко используется при силовых и динамических расчетах механизмов. Достоверность расчетов, получаемых при помощи программного обеспечения использующего МКЭ, доказана на практике во многих отраслях промышленности, в том числе проектировщиками железнодорожного и авиатранспорта.

Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции (в физической интерпретации – температуры, давления, перемещения и т.д.) дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами.

Нами была построена конечно-элементная модель изделия (детали оборудования, массивный инструмент и т.п. из средне- и высокоуглеродистой стали), подвергнутого плазменной поверхностной моди-

фикации. Расчеты напряженно-деформированного состояния осуществлялись в лицензионном комплексе MSC Visual Nastran for Windows.

При построении данной модели сечение модифицированной зоны получали максимально приближенным к реальному. Ранее сечение модифицированной зоны аппроксимировалось трапецией. В данной модели удалось получить и, что самое важное, разбить на конечные элементы упрочненную зону в форме сегмента окружности.

Расчеты показывают, что максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу наблюдаются в переходной зоне между модифицированным и основным металлом. Данная модель позволяет не только определить значения напряжений на поверхности покрытия, но и отображает эпюры напряжений любой точки модифицированной зоны и всей модели.

Известно, что наибольшему износу подвержены участки с максимальными напряжениями. Исходя из результатов построенных эпюр, можно спрогнозировать, что износ такой поверхности будет равномерным, а учитывая высокую твердость модифицированных зон – крайне низким.

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 65Г**

С.С. Самотугин, проф., д-р техн. наук, Д.С. Литвиненко, ассистент  
ГВУЗ «ПГТУ»

Плазменное поверхностное упрочнение сталей является эффективным способом повышения эксплуатационных свойств стали 65Г.

Исследования показывают, что сталь 65Г в нормализованном состоянии имеет ферритно-перлитную структуру (рис. 1), наиболее высокую ударную вязкость и наиболее низкую твердость и износостойкость. Плазменное упрочнение способствует снижению ударной вязкости в 2 раза и повышению износостойкости на 65%. Объемная закалка снижает ударную вязкость почти в 3 раза и повышает износостойкость лишь на 22% (табл. 1).